

2022 年度日本天文学会林忠四郎賞

氏名：大須賀 健（おおすが けん）

現職：筑波大学 教授

授賞対象となる研究：コンパクト天体周囲の降着流と噴出流の先駆的シミュレーション研究

Pioneering Simulation Study on Accretion Flow and Outflow around
Compact Objects

大須賀健氏は、1960 年代から未解明となってきたコンパクト天体への超臨界降着（エディントン限界を超えたガス降着）問題に対し、輻射流体シミュレーションコードを独自開発して取り組み、ブラックホール超臨界降着流の実現を証明し、その観測的特徴を明らかにした。さらに、ブラックホール降着流にみられる 3 つの降着モードの統一、一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションの実現、中性子星への超臨界降着流やライン駆動型アウトフローの先駆的シミュレーションで世界を牽引する卓越した成果を上げてきた。

ブラックホール天体は周りのものを吸い込むだけでなく、その降着流が生み出す輻射やガスアウトフローを介して、その周囲に莫大なエネルギーを供給している。球対称降着では降着流が生み出す輻射の圧力がガス降着を妨げ、古典的な限界（エディントン限界）を超える超臨界降着は不可能であるが、円盤を形成して降着する場合について超臨界降着が可能であるか否かは未解明の問題となってきた。この問題を解くためには多次元輻射流体シミュレーションが不可欠であるが、これまで最終的な決着に至る計算は行われてこなかった。大須賀氏は、多次元輻射流体力学コードを新規開発し、これを用いたシミュレーションにより超臨界降着流の長時間計算に世界で初めて成功した (Ohsuga et al. 2005, ApJ, 628, 368)。このことにより、①定常的な超臨界降着が可能であること、②降着流内で発生した大量の光子がガスと一緒にブラックホールに吸い込まれること（フォトン・トラッピング効果）、③輻射圧により大量のガスが高速（光速の 1~2 割）で噴き出すこと、④高いエネルギー効率で噴出流が運動量やエネルギーを外部に運ぶこと、⑤円盤面に垂直方向には見かけの光度がエディントン光度の 10 倍以上になることなどを定量的に明らかにした。さらに、輻射圧駆動型噴出流は普遍的に間欠的構造を示すという、予想されていなかった結果を世界で初めて示し (Takeuchi et al. 2013, PASJ, 65, 88; Kobayashi et al. 2018, PASJ, 70, 22)、ブラックホール噴出流の理解が大きく進展した。

上述のシミュレーションは、磁場の働きを現象論的モデル（ α モデル）で置き換えて行われたが、大須賀氏は磁場による角運動量輸送を無矛盾に解くため、輻射磁気流体計算コードを独自開発してブラックホール降着流の大局的 2 次元シミュレーションを世界に先駆けて実行した。その結果、観測的に知られた 3 降着モード（超臨界降着、標準円盤、低光度の高温円盤）を、ブラックホールへのガス供給率という 1 パラメータを変えるだけで再現してみせ、ブラックホール降着円盤のモデルを統一した (Ohsuga et al. 2009, PASJ, 61, L7; Ohsuga & Mineshige 2011, ApJ, 736, 2)。さらに、ブラックホール周りの輻射輸送を解く 3 次元の一般相対論的輻射磁気流体コードを世界に先駆けて開発し、これを用いた 3 つの降着モードの詳細計算を行い、当該分野を牽引している (Takahashi et al. 2016, ApJ, 826, 23; Takahashi & Ohsuga 2017, ApJ, 845, L9; Asahina et al. 2020, ApJ, 901, 96; Asahina & Ohsuga 2022, ApJ, 929, 93)。

ブラックホールへの超臨界降着は、上述の通り存在が証明されたが、光子を吸い込めない中性子星では超臨界降着は実現しないとする見方が研究者の大勢を占めていた。大須賀氏は中性子星への超臨界降着問題にも挑み、当時の予想に反して中性子星においても、降着流と噴出流の棲み分けが起こることで継続的

超臨界降着が可能であることを予言した (Ohsuga 2007, PASJ, 59, 1033)。予測した噴出ガスからの X 線スペクトルは、高光度 X 線源 (ULX) の観測スペクトルを見事に再現し (Kawashima et al. 2012, ApJ, 752, 18), 中間質量ブラックホールか超臨界降着かで激しい論争が続いていた ULX の正体として超臨界降着説が有力となった。「超臨界降着する中性子星がある」との予言は、10 年後に、ULX の一部にパルサーが発見されて超臨界降着説が正しいことが実証された。その後、大須賀氏は一般相対論的シミュレーションにも成功し (Takahashi & Ohsuga 2017, ApJ, 845, L9), ULX パルサーのシミュレーション研究にも拡張している (Kawashima & Ohsuga 2020, PASJ, 72, 15)。

大須賀氏は、さらにライン駆動型ウィンドモデルの提唱と検証でも優れた成果を上げている。いくつかのセイファート銀河で、光速の 10% 程度の速度を持つアウトフローの存在が示唆しており UFO (Ultra-Fast Outflow) と呼ばれているが、その正体はまだ明らかにされていない。セイファート銀河の多くは亜臨界降着であり、前述の超臨界降にみられる (連続光) 輻射圧駆動型アウトフローでは説明できない。大須賀氏は、亜臨界降着でも部分電離したガスが輻射を吸収して運動量を受け取って飛び出すというライン駆動型ウィンドに着目して輻射流体シミュレーションコードに組み入れ、ライン駆動型ウィンドの発生条件を明らかにし、ウィンドの速度やパワー、カバリング・ファクターの光度依存性が UFO の観測をみごとに再現することを示した (Nomura et al. 2016, PASJ, 68, 16; Nomura & Ohsuga 2017, MNRAS, 465, 2873; Nomura, Ohsuga, & Done 2020, MNRAS, 494, 3616)。さらにラインウィンドの重元素量依存性やブラックホール質量依存性も明らかにし、金属量が太陽近傍程度に増加すると巨大ブラックホールの成長が遅くなることを示した (Nomura, Omukai, & Ohsuga 2021, MNRAS, 507, 904)。

以上のように、大須賀氏は、超臨界降着流の存在証明、ブラックホール降着円盤モデルの統一、一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション、中性子星への超臨界降着流の予言、ライン駆動型ウィンドモデルの予言と検証など、コンパクト天体周囲の降着流と噴出流の研究で世界的に評価の高い卓抜の成果を挙げ、わが国の天文学の発展に大きく貢献してきている。また、氏は主要な国際会議で多くの招待講演を行い、科学組織委員 (SOC) を務めており当該分野の第一人者として評価されている。以上の理由から、大須賀氏に対して、2022 年度林忠四郎賞を授与することとした。